

**INFLUENCIA DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN POR EVAPORACIÓN
AL VACÍO SOBRE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LECHE Y
LACTOSUERO**



HANSER JIMENEZ GONZALEZ

UNIVERSIDAD DE CORDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

MONTERÍA

2015

**INFLUENCIA DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN POR EVAPORACIÓN
AL VACÍO SOBRE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LECHE Y
LACTOSUERO**

HANSER JIMENEZ GONZALEZ

Tesis presentada como opción al Título Académico de Ingeniero de Alimentos.

Director

RICARDO ANDRADE PIZARRO, Ph.D

Coodirector

ANGÉLICA RIBEIRO DA COSTA, Ph.D

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

MONTERÍA

2015

**La responsabilidad ética, legal y científica, de las ideas, conceptos, y resultados del
proyecto serán de los autores.**

**Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del Consejo Superior de
la Universidad de Córdoba.**

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicarlo a Dios, el ser que abre puertas y prepara los caminos que siempre nos conducen a la felicidad. Su misericordia infinita me ha permitido vivir las más grandes experiencias que he podido imaginar, enseñándome a vivir en medio de la adversidad con una sonrisa, hasta dejarla atrás. El rey de reyes engrana y encaja cada pieza en la máquina de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo resume una etapa de gran crecimiento personal. Por ello quiero dar gracias en primer lugar, al ser supremo que hace las cosas posibles a través de su misericordia; Dios. En segundo lugar al inmenso amor de mis padres, a su paciencia, a su apoyo incondicional, a sus sacrificios desinteresados, porque con ello me han enseñado que donarse hasta el cansancio y forjar la felicidad de otra persona, es un logro y una satisfacción que no tiene comparación. Y por último quiero agradecer a mis hermanos, a mi novia y a todas las personas que me han hecho creer en mis capacidades, y con ello me han regalado impulsos de superación en medio de la duda.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. LECHE	3
2.2. LACTOSUERO.....	5
2.3. TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA LECHE Y LACTOSUERO.....	8
2.4. VARIABILIDAD DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL	9
2.5. IMPORTANCIA DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL EN LA EVAPORACIÓN	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Materia prima	14
3.2. Evaporación de leche y de lactosuero	16
3.3. Determinación de propiedades fisicoquímicas	17
3.4. Análisis estadístico	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1. Caracterización físico-química del lactosuero.....	22
4.2. Tensión Superficial de leche	25
4.3. Tensión superficial del lactosuero	29
5. CONCLUSIONES	35
6. RECOMENDACIONES.....	37
7. BIBLIOGRAFIA	38
8. ANEXOS	45

RESUMEN

Para la determinación de la influencia de la concentración de leche y lactosuero en la tensión superficial, las muestras se concentraron a 9 niveles de concentración en un evaporador por lotes a vacío, con cantidades iniciales de 150 y 300 litros de leche y lactosuero, a concentración inicial de 10,7 y 6,5% de sólidos totales respectivamente. Los resultados muestran que el efecto global de la concentración de la leche, es una ligera disminución de la tensión superficial de 40,62 a 39,21 mN/m y que a medida que aumenta la concentración se presentan diversas dinámicas en la tensión superficial, causadas principalmente por la liberación de fosfato primario y secundario y la cristalización de lactosa. Por otra parte, el contenido de proteína, cenizas y lípidos influyen significativamente, disminuyendo la tensión superficial en lactosuero durante la concentración por evaporación, mientras que la lactosa no se considera un agente de superficie activa importante. Aunque la tendencia de la tensión superficial es a disminuir, el mecanismo que predomina es la desnaturalización proteica en la superficie de los glóbulos de grasa, causado por manipulación y variabilidad térmica, aumentando progresivamente la tensión superficial durante la concentración de lactosuero.

Palabras clave: Tensión superficial, leche concentrada, lactosuero concentrado, desnaturalización, evaporación.

ABSTRACT

To determine the influence of organic components in the surface tension of milk and whey, samples were concentrated in 9 levels of concentration in a batch vacuum evaporator, with initial amounts of 300 and 500 liters of whey and milk, a starting concentration of 1.7 to 6.5% total solids respectively. The result also show that overall effect of the concentration of milk, is a light decrease in the surface tension of a and 39.21 40.62 mN / m and with increasing concentration are presented in various dynamic surface tension, caused mainly by the release of primary and secondary phosphate and lactose crystallization. Moreover, the protein content, lipid and ash significantly influence in lowering the whey surface tension during evaporation while lactose not considered a surface active agent important. Although the trend is to decrease surface tension, the mechanism is predominant protein denaturation at the surface of the fat globules, caused by handling and thermal variability, progressively increasing the surface tension in the concentration of whey.

Keywords: Surface tension, concentrated milk, whey concentrate, denaturation, evaporation.

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de aprovechar el lactosuero, subproducto de la industria láctea, y darle uso a sus características tecnológicas y biotecnológicas, este se ha venido utilizando en una gran cantidad de aplicaciones. Esto incluye, el uso del lactosuero como agregados de proteínas y geles en la producción de películas y recubrimientos comestibles, en el control de textura en productos como el yogurt y surimi; como agentes microencapsulantes para proteger ingredientes sensibles al deterioro y a pérdidas de componentes bioactivos, nutrientes nutraceuticos y flavor, aprovechando al mismo tiempo su capacidad para interaccionar con el agua y el aceite (Correa 2010). Además, recientemente el lactosuero se ha usado en aplicaciones de separación y aprovechamiento de lactosa (Cuartas 2009), y como películas de recubrimiento en alimentos como salmón ahumado (Rodríguez 2009) y tomate (Galiotta et al. 2005), con el fin de aumentar la vida útil.

Para poder usar el lactosuero, en las aplicaciones anteriormente mencionadas, tiene que ser sometido a diferentes operaciones de separación y concentración (ultrafiltración,

atomización, evaporación). En el diseño de dichas operaciones, es necesario conocer las propiedades fisicoquímicas de los alimentos que son procesados. Una de estas propiedades es la tensión superficial, cuyo papel es fundamental, en relación con la estabilidad de las espumas, emulsiones, y películas biodegradables, y en general en las operaciones de fraccionamiento, concentración y secado (Fox 1997). Particularmente, en las aplicaciones por aspersión (secado por atomización, recubrimientos, entre otras), la tensión superficial está directamente relacionada con el tamaño de la gota atomizada, el tiempo de caída desde la boquilla, y el tiempo de secado (Masters 1976; Drusch et al. 2012; Howes et al. 2013).

Cuando la leche y el lactosuero son sometidos a operaciones de separación y concentración, la tensión superficial se ve afectada. Esto se debe principalmente a cambios de la concentración de sus componentes, tales como la grasa, proteínas, y sales, lo cual está relacionado con la actividad superficial de los líquidos lácteos (Alais y Godina 1985). Estos componentes actúan como agentes de superficie activos que se absorben en la interfaz liquido-aire, generalmente disminuyendo la tensión superficial (Ramesh 2013).

En este trabajo se estudió el efecto de la concentración de leche y lactosuero en la tensión superficial, usando un evaporador de placas a vacío. Este estudio es importante para predecir el comportamiento de los productos lácteos durante su procesamiento, lo que permite garantizar la calidad y estabilidad de emulsiones, espumas y películas en productos lácteos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LECHE

Según el Codex alimentario, la leche es la secreción mamaria normal de animales lecheros obtenidos mediante uno o más ordeños sin ningún tipo de adición o extracción, destinados al consumo en forma de leche líquida o a elaboración ulterior. Teniendo en cuenta que siempre que se usa el término “Leche” se refiere a la secreción obtenida de la vaca (FAO-OMS 1999).

La leche es un alimento nutricionalmente completo, que provee proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales necesarios para el crecimiento en la juventud. Las propiedades multifuncionales hacen que sea el ingrediente clave en la preparación de platos y alimentos procesados a escala industrial (Ralph 1998). La composición de la leche puede variar en función de la región de procedencia, la raza, la alimentación, el estado de lactancia y la época del año (Aranceta 2005). Como se observa en la Tabla 1, el agua es el componente más importante a nivel cuantitativo; los restantes componentes

de la leche constituyen lo que se conoce como extracto seco total, que alcanza valores entre el 12,1 y 13%. El extracto seco magro corresponde aproximadamente al 9% y se refiere al contenido total de la leche exceptuando la grasa.

Tabla 1 Composición aproximada de la leche de vaca

Componente	Contenido promedio en leche (% p/p)	Rango (% p/p)	Contenido promedio en base seca (% p/p)
Agua	87,1	85,3-88,7	
Sólidos no grasos	8,9	7,9-10	
Grasa en materia seca	31	22-38	
Lactosa	4,6	3,8-5,3	36
Grasa	4,0	2,5-5,5	31
Proteínas	3,3	2,3-4,4	25
Caseína	2,6	1,7-3,5	20
Minerales	0,7	0,57-0,83	5,4
Ácidos orgánicos	0,17	0,12-0,21	1,3
Otros	0,15		1,2

Fuente: Walstra 2013

Todos los componentes de la leche se distribuyen en el medio acuoso formando tres fases: la materia grasa se acumula en unas estructuras relativamente complejas y los glóbulos grasos forman una emulsión grasa/agua. La suspensión coloidal de las caseínas (forman micelas, ligadas a la presencia de fosfato cálcico coloidal y, en menor medida, a otras sales) y la solución coloidal de las seroproteínas, ambas en la fase acuosa. La tercera fase es llamada solución verdadera compuesta de lactosa y sales minerales solubles (Hernandez 2010).

Cuando la leche es procesada para fabricar queso, se obtiene un líquido translucido verde, llamado lactosuero. De esta manera los componentes de la leche se encuentran separados en una fase líquida (lactosuero) rica en lactosa, proteínas solubles y sales minerales, y una fase sólida (queso) rica en proteínas y lípidos. La fase líquida o lactosuero es una excelente materia prima para la obtención de diferentes productos a nivel tecnológico o como medio de formulación en procesos fermentativos (Parra et al. 2009).

2.2. LACTOSUERO

El lactosuero es el líquido resultante de la coagulación de la leche durante la elaboración del queso. Se obtiene tras la separación de las caseínas y de la grasa. Constituye aproximadamente 90 % del volumen de la leche y contiene la mayor parte de los compuestos hidrosolubles de ésta. Su composición varía dependiendo de las características de la leche y de las condiciones de elaboración del queso de que proceda, ya que la cuajada se puede obtener por acidificación (lactosuero ácido) o por la adición de cuajo (lactosuero dulce). Dependiendo de estos factores habrá una variación importante en el contenido de calcio y de otras sustancias minerales (Ángela 1995). En la tabla 2 se muestra la composición promedio de cada tipo de lactosuero.

Tabla 2 Composición de lactosuero dulce y ácido

Componente	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero ácido (g/L)
Sólidos totales	63-70	63-70
Lactosa	46-52	44-46
Proteína	6-10	6-8
Calcio	0,4-0,6	1,2-1,6
Fosfatos	1-3	2-4,5
Lactato	2	6,4
Cloruros	1,1	1,1

Fuente: Panesar et al. (2007).

La industria láctea es uno de los sectores más importantes de la economía de países industrializados y en desarrollo. Aproximadamente 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero. Además de ser un producto voluminoso, presenta una alta capacidad contaminante con un DBO de 30000 a 50000 mg/L, por lo que constituye uno de los mayores problemas de la industria láctea, ya que las estadísticas indican que una importante porción de ese residuo es descartada como efluente (Alais 1985; Aider et al. 2009; Fernandes et al. 2009).

Aunque el lactosuero es una gran fuente de contaminación para la industria láctea, también representa una fuente de desarrollo para la ciencia y la tecnología, teniendo en cuenta el valor nutritivo de sus componentes. Debido a esto, en todo el mundo se han realizado considerables esfuerzos dirigidos al aprovechamiento del lactosuero, tanto a

nivel de investigación tecnológica como a nivel de políticas gubernamentales que alientan y presionen a los industriales a hacer uso de este subproducto evitando que sea vertido al seno de cursos acuíferos. En Colombia, la resolución 0631 del 17 marzo de 2015, establece los parámetros y valores límites máximos permisibles específicos, de análisis y reporte, de los vertimientos de acuerdo a cada actividad comercial, industrial o de servicios. La norma establece estos valores de acuerdo a la concentración de contaminantes en los vertidos, lo que permite una medición real del impacto de los vertidos y de la responsabilidad por parte del ente emisor (García et al. 1999; Koutinas et al. 2009; Minambiente 2015).

Existe a nivel mundial una gran variedad de tecnologías para la utilización del lactosuero; sin embargo, la biotecnología ha abierto alternativas muy interesantes para ello, destacándose la utilización del lactosuero como medio de cultivo, producción de ácidos orgánicos, alcohol, bebidas fermentadas, producción de enzimas, obtención de levaduras para panificación y jarabes de lactosuero (Mariano 2004). Para el desarrollo de estas aplicaciones es importante el estudio de las propiedades físicas del lactosuero, ya que estas juegan un papel importante en las operaciones de separación y concentración a las que debe ser sometido. Una de estas propiedades es la tensión superficial, que cobra importancia cuando se altera la naturaleza del líquido y sus fuerzas de atracción, al alterar los agentes que mantienen este equilibrio, como son las sustancias orgánicas de la leche (Lewis et al. 1993).

2.3. TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA LECHE Y LACTOSUERO

La tensión superficial es una manifestación del desequilibrio de fuerzas intermoleculares experimentadas por una molécula en una interfaz (aire-agua o agua-aceite) en comparación con una molécula en el interior de una fase. Este desequilibrio se produce porque la molécula de la superficie no está rodeada por moléculas similares (Fox y McSweeney 1998).

Para que la molécula que se encuentra en la superficie esté en la interfaz, este desequilibrio tiene que ser contrarrestado por una fuerza contráctil, que se conoce como tensión superficial, la cual depende de las interacciones intermoleculares y por lo tanto es diferente para diferentes materiales. La tensión superficial, denotada por σ , actúa perpendicularmente y hacia el interior desde los límites de las superficies (Zebin y Ganesan 2010). Por lo cual, se considera como la fuerza necesaria para aumentar el área interfacial por una cantidad unitaria, y usualmente se expresa en mN/m. Esta propiedad es característica de los líquidos y tiene un impacto significativo en la estabilidad de emulsiones, espumas y películas en productos lácteos (Fox y McSweeney 1998). En la Tabla 3 se muestran los valores de tensión superficial del agua, leche y lactosuero.

Tabla 3 Tensión superficial (mN/m) de la leche, lactosuero y agua a 15°C

Muestra	Valor
Leche entera	47-53
Leche descremada	52-57
Lactosuero de cuajada	52-55
Agua	75

Fuente: Charles (1985).

La tensión superficial de fluidos lácteos ha sido determinada por diferentes métodos como: el método dinámico de placa de Wilhelmy (Kristensen et al. 1997; Mukherjee et al. 2005; Williams et al. 2005), método dinámico del anillo Du Nouy (Dunkley 1951; Watson 1958) y el método estático de ascensión capilar (Mukherjee et al. 2005). Whitnah (1959) y Roehl (1988) compararon datos de tensión superficial de leche desnatada y lactosuero integral disponible en la literatura y observaron valores muy diferentes para un mismo producto. La variabilidad de los datos de tensión superficial puede ser debido al tipo de técnica utilizada, composición e historial de procesamiento del material (Williams et al. 2005; González-Tello et al. 2009).

2.4. VARIABILIDAD DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL

La tensión superficial de un líquido puede estar influenciada por diferentes factores. Dentro de los cuales se encuentran los solutos o agentes de superficie activa, que generalmente se absorben en la interfaz aire/agua formando una capa mono molecular en

la superficie hasta que esta es cubierta. Usualmente esto resulta en una reducción de la tensión superficial (Ramesh 2013). Esta disminución se da de acuerdo con la cantidad de agentes de superficie activa contenidos, y en condiciones ideales se puede expresar por la ecuación de Gibbs:

$$d_{\sigma} = -RT\Gamma d\ln a \quad (1)$$

Donde d_{σ} es la variación de la tensión superficial, Γ es el exceso en la concentración del soluto en la interfaz, a es la actividad del soluto en la fase mayor, R es la constante universal de los gases ideales, y T es la temperatura en Kelvin. Por lo tanto, los agentes de superficie activa más efectivos son aquellos que se acumulan más fácilmente en una interfaz.

Los principales surfactantes o de superficie activa en leche son las proteínas, fosfolípidos, mono y di glicéridos y sales de ácidos grasos libres; mientras que las sales y la lactosa no contribuyen significativamente a la tensión superficial en leche (Fox 1997). Estos componentes orgánicos promueven la disminución de la tensión superficial, y a su vez, pueden influir en características de calidad de productos procesados, como la capacidad de formación de espuma en líquidos. Kamath et al. (2008), encontraron una relación inversa entre el contenido de ácidos grasos libres y la estabilidad de la espuma formada por inyección de vapor en leche, encontrando 48 minutos de vida media de la espuma a 1 μ equiv/mL de ácidos grasos libres y 15 minutos de vida media a 5

uequiv/mL. Por otra parte, López et al. (1997) encontraron que la formación de espuma en jugo de uva aumenta con la concentración de proteínas, azúcares, polifenoles, y alcoholes, que se evidencia a través de la relación sólidos solubles/ acidez titulable. Además, los jugos con índice de maduración (sólidos solubles/acidez valorable) entre 4 y 5,5 presentan más alta capacidad de formación de espuma.

El conocimiento de la relación entre los componentes orgánicos y la tensión superficial permite predecir el comportamiento de los productos durante su procesamiento. Xu et al. (2012) reportan que la actividad superficial de aislados de proteína en solución, aumenta cuando aumenta la concentración de proteínas de lactosuero hidrolizadas (9,5 y 12% de hidrólisis), y proteínas de soja aislada, presentándose disminución de la tensión superficial). De la misma manera, Howes et al. (2013) han relacionado el contenido de grasas y proteínas, con la tensión superficial de partículas atomizadas. Estos autores reportaron una disminución en la tensión superficial al aumentar la proporción de grasa, en una emulsión de proteínas no hidrolizadas de lactosuero y grasa.

Además de la composición, existen otros factores que pueden influenciar la tensión superficial de la leche. Uno de estos factores es la temperatura. En la pasteurización de leche entera y descremada los valores de tensión superficial disminuyen cuando la temperatura incrementa. Esto se debe a que al calentarse la leche, se da la desnaturalización y la coagulación de proteínas, es decir, se altera un agente de superficie activa (Fox1998). Por otra parte, algunos procesos mecánicos como la

homogenización de la leche, disminuye el valor de la tensión superficial, ya que estimulan la lipólisis producida por las lipasas indígenas, y los ácidos grasos de superficie activa son liberados. Otros factores como el tiempo de almacenamiento de la leche y el tiempo de medición, afectan en menor medida los valores de tensión superficial (Fox1998).

2.5. IMPORTANCIA DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL EN LA EVAPORACIÓN

Casi todas las unidades de evaporación utilizan evaporadores de película descendente en la concentración de productos lácteos (Walstra et al. 2006). En el diseño y modelado de estos evaporadores, el conocimiento de las características de flujo y del comportamiento de la evaporación es importante por varias razones; principalmente permiten la determinación de los factores que controlan la transferencia de calor (coeficiente global de transferencia), permitiendo estimar la pérdida de presión de vapor. El estudio de las propiedades de flujo y de la evaporación, también ayudan a garantizar la mojabilidad de la superficies, asegurando la calidad de los productos evaporados (Gourdon et al. 2015). En los evaporadores de película descendente, una película moja toda la superficie y es necesaria para asegurar la eficiencia del proceso y evitar la aparición de incrustaciones, por adsorción de una mono capa de proteína o por deposición de minerales en la superficie. La tasa de flujo mínima requerida para establecer o mantener una película completa es conocida como la tasa de mojabilidad mínima, definida, como el flujo másico por unidad de circunferencia del tubo, y depende tanto de las condiciones de operación como de características del producto, tales como viscosidad y tensión

superficial (Morrison et al. 2006; Silveira et al. 2013). En la caracterización del flujo en evaporadores de película descendente, un parámetro adimensional denominado Kapitza, Ka (Ec. 2) compara las fuerzas de tensión superficial con las fuerzas de inercia. Este parámetro se considera una propiedad del líquido al estar compuesto por la tensión superficial, densidad, aceleración gravitacional y viscosidad cinemática, y se usa como indicador del régimen hidrodinámico en la caída de la película completa que se debe formar (Gourdon et al. 2015; Kalliadasis 2011).

$$Ka = \frac{(\rho^{1/3})(\sigma)}{(\mu^{4/2})(g^{1/3})} \quad (2)$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materia prima

La leche utilizada se obtuvo de un centro de acopio localizado en el distrito industrial del municipio de Juiz de Fora (Minas Gerais, Brasil). Esta leche es proveniente de vacas de raza holandesa, criadas en sistemas de semiconfinamiento, ordeñadas mecánicamente, e inmediatamente enfriada (4-7 °C). El transporte de la leche hasta el sitio de realización del experimento (Instituto de Investigación de Lácteos Cândido Tostes), se realizó en camión refrigerado. Como pre-tratamiento, la leche fue estandarizada a 3,2 % de grasa y pasteurizada (65°C/30 min).

El lactosuero fue obtenido por coagulación enzimática de leche en la producción de queso fresco, de acuerdo con el flujograma que se muestra en la Figura 1. El lactosuero fue separado mecánicamente del coágulo formado, para luego ser caracterizado.

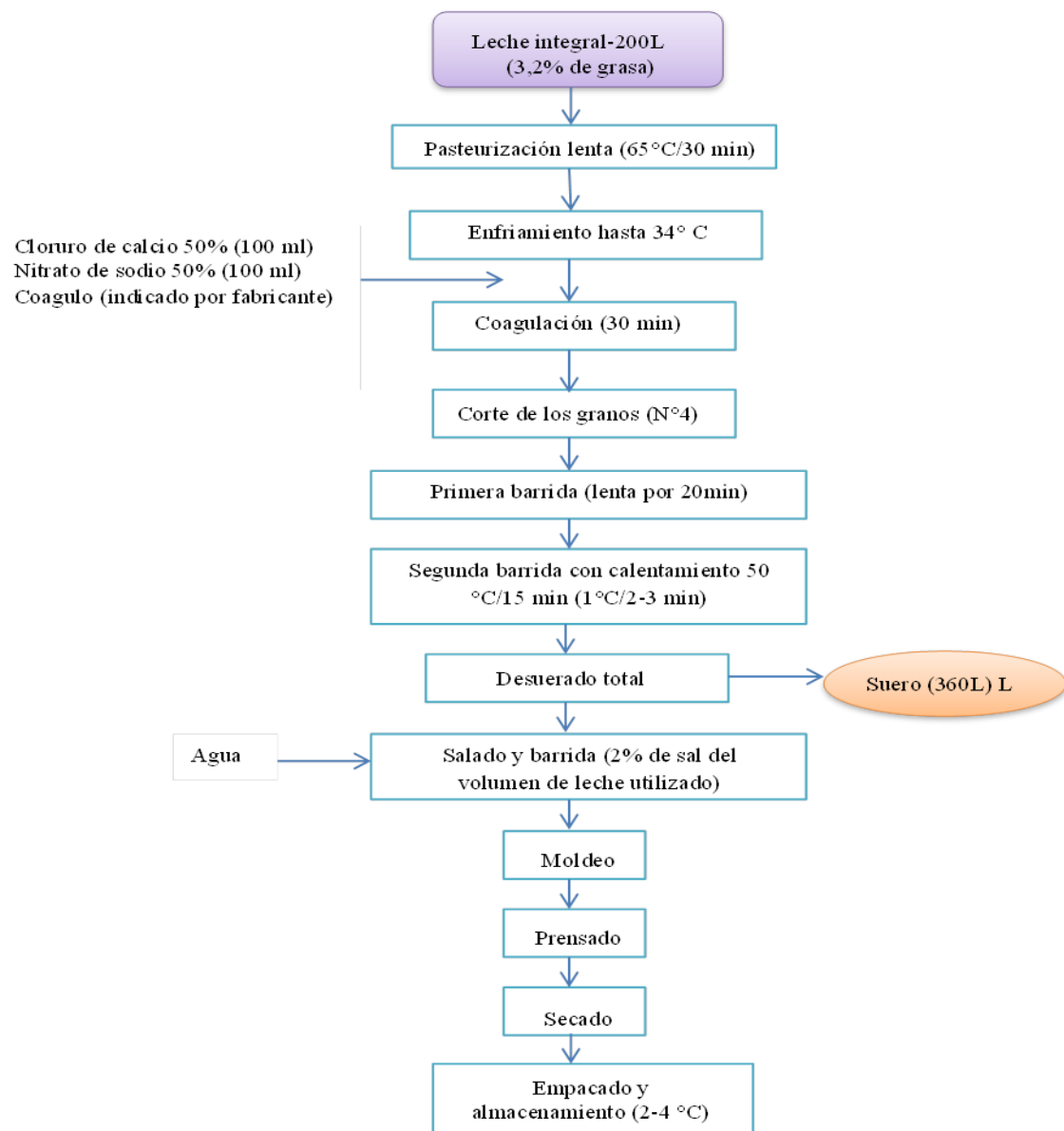


Figura 1. Flujograma de obtención de lactosero en la producción de queso fresco

3.2. Evaporación de leche y de lactosuero

La obtención de muestras de leche y lactosuero concentradas, se realizó en el Laboratorio de Investigaciones Físico-Químicas y Laboratorio de Tecnologías de EPAMIG, en el Instituto de Laticínios Cândido Tostes en Juiz de Fora – MG-Brasil.

La leche y el lactosuero fueron previamente precalentados a 65-70 °C antes de ser sometidos a evaporación, la cual se hizo en un evaporador de placas, de simple efecto, a vacío (APV, modelo Júnior). Se utilizaron 150 L de leche y 350 L de lactosuero. El volumen utilizado de lactosuero fue definido con base en los ensayos descritos por Perrone (2010). Donde se comprobó que volúmenes inferiores a 300 L favorecerían la incorporación de gran cantidad de aire y formación de espuma en el separador líquido-vapor, dificultando la concentración. La adición de las muestras en el evaporador fue realizada lentamente hasta alcanzar el volumen especificado para cada fluido. A partir de esta etapa, muestras concentradas fueron retiradas del evaporador a temperatura de 45°C, en intervalos de tiempo de 10 minutos para un total de 8 muestras, enumerándolas como; S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 y S8 para el lactosuero, y L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 y L8 para leche. Inmediatamente después de la recolección, se midió el contenido de sólidos solubles (°Brix) en refractómetro digital (Reichert, modelo AR200) y pH. Las muestras fueron colocadas en frascos debidamente identificados y mantenidas bajo refrigeración. Para evitar el crecimiento microbiano se utilizó trinitrogeneto de sodio – NaN_3 (azida de sodio), a razón de 0,2 % (m/v).

3.3. Determinación de propiedades fisicoquímicas

A las muestras de leche y lactosuero concentradas se les realizaron los siguientes análisis: pH, acidez, sólidos totales, proteínas, lípidos, carbohidratos y cenizas, conforme a la Norma 68/2006 del Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento de Brasil (MAPA) y descritas a continuación:

- **pH:** el pH se determinó por el método directo utilizando un pHmetro (P21, Hanna, USA), a 25 °C.
- **Acidez total:** la acidez se determinó por titulación con una solución alcalina de concentración conocida. Se midió 20 mL de la muestra de leche, utilizando una pipeta volumétrica, transferidos a un Erlenmeyer de 125 mL, y diluidos con 40 mL de agua libre de gas carbónico. Se adicionó 2 mL de solución alcohólica al 1 % de fenolftaleína, y en seguida, se tituló con solución de hidróxido de sodio (0,1 mol·L⁻¹) hasta apareamiento de coloración rosada. La acidez total (AT) fue expresada como porcentaje de ácido láctico en la muestra, de acuerdo a la ecuación 3.

$$AT = \frac{V \times C \times f \times 0,09}{V_a} \times 100 \quad (3)$$

Donde V es el volumen de la solución de hidróxido de sodio gastado en la titulación, en mL, C la concentración de solución (mol·L⁻¹), f el factor de corrección de concentración

de la solución de hidróxido de sodio, 0,09 el factor de conversión del volumen de solución alcalina para ácido láctico y V_a el volumen de la muestra, en mL.

- **Sólidos totales:** la determinación de sólidos totales se hizo por gravimetría. Se pesó aproximadamente 5 g de muestra en una balanza (Shimatzu AY220, Japón, precisión de $\pm 0,1$ mg). Se utilizaron placas de Petri previamente lavadas y secadas a la misma temperatura de análisis (102 ± 2 °C) y generalmente al valor de temperatura recomendado. La muestra se colocó en estufa de circulación forzada (Q314M242, Quimis, Brasil) y secada hasta masa constante. La muestra seca fue enfriada en un desecador, y el contenido de sólidos se calculó por la ecuación 4.

$$TS = \frac{M_s}{M_a} \times 100 \quad (4)$$

Donde TS es el contenido de sólidos totales de la muestra, M_a es la masa (g) de la muestra inicial y M_s es la masa (g) de la muestra seca.

- **Contenido de proteínas:** la cuantificación de proteínas se hizo a través del contenido de nitrógeno orgánico usando el método de Kjeldahl. Usando una balanza (Shimatzu AY220, Japón, precisión $\pm 0,1$ mg) y un destilador de nitrógeno (TE-0363, Tecnical, Brasil).

- **Contenido de Lípidos:** el contenido de lípidos se determinó por el método de Rose-Gottlieb. Pesando 10 g (Shimatzu AY220, Japón, precisión $\pm 0,1$ mg) en un frasco de Mojonnier y mezclado con 2 mL de amonio concentrado. Enseguida, se adicionaron 10 mL de Etanol y se mezclaron para completar la liberación de los lípidos de los glóbulos. Los lípidos liberados se recuperaron por extracción con una mezcla de éter etílico y éter de petróleo (25 mL de cada solvente). Después de reposadas, la fase de solvente que contiene los lípidos se decantó en un balón de fondo redondo. La extracción se repitió dos veces para asegurar una extracción completa de la materia grasa. El solvente fue entonces evaporado y separado del extracto del fondo del recipiente, determinando el peso del residuo lipídico, expresándose como porcentaje del peso de la muestra.
- **Contenido de cenizas:** el contenido de cenizas se determinó pesándose aproximadamente 5 g de muestra en una capsula de porcelana, previamente preparada. Se incineró a 550 °C en una mufla (Q318M, Quimis, Brasil), hasta que las cenizas fueron uniformemente blancas o de color gris. Lo que normalmente demoró de 3 a 6 horas. Después, se enfrió la capsula de porcelana en un desecador, y se determinó la masa del residuo de las cenizas.
- **Contenido de lactosa:** el contenido de lactosa se determinó por método cromatográfico, utilizando un cromatógrafo de iones (850 Professional IC, Metrohm, Suiza) equipado con bomba isocrática, sistema de diálisis y detector amperométrico (896 Professional Detector). Inicialmente, se pesó

aproximadamente 1 g de la muestra en una balanza Shimatzu, AY220 (precisión $\pm 0,1$ mg) y se diluyó en 20 mL de agua a 45 °C. Enseguida, se transfirió a un balón volumétrico de 100 mL y se adicionó 1 mL de solución de ferrocianato de potasio 15% (m/v) y 1 mL de solución de acetato de zinc 30% (m/v). El contenido se agitó para la precipitación de las proteínas, y se completó el volumen del balón con agua desionizada (Direct-Q®3, Millipore, EUA; $R \geq 18.2$ $M\Omega \cdot cm^{-1}$). La muestra se mezcló por inversión y se filtró en papel de filtro cuantitativo y, posteriormente, en membrana 0,45 μm (Millipore, EUA). Una solución acuosa de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ se usó como fase móvil a flujo de 1 mL.min⁻¹. El volumen de inyección de la muestra fue de 10 μL , analizando su contenido en una columna Metrosep Carb 1 (150*4 mm) a temperatura controlada (25 °C). La adquisición y tratamiento de los datos fueron realizados usando el programa MagIC Net 3.0 (Metrohm). Una curva analítica con concentraciones conocidas de lactosa (Sigma-Aldrich, EUA) fue preparada previamente.

- **Tensión superficial:** las medidas de tensión superficial de las muestras fueron realizadas por el método de la placa de Wilhelmy, utilizando un tensiómetro (DCAT 11EC, Data Physics, Alemania), con una placa de platina (19,9*10,0*0,2 mm). Los experimentos se realizaron a temperatura de 29 ± 1 °C por triplicado.

El método de la placa de Wilhelmy consiste en la determinación de la tensión superficial por medio de la verificación de las variaciones de peso de la placa en contacto con la

superficie del líquido. Las medidas se obtienen realizando los siguientes pasos: adición de la muestra líquida a una cuba de vidrio lavada y esterilizada, posterior desplazamiento de la placa hasta la proximidad de la placa que queda suspendida en el brazo de una balanza; desplazamiento lento de cuba de forma que ocurra contacto entre el líquido y la placa hasta la detección del punto de profundidad cero; en seguida, la cuba se levanta hasta que la placa queda inmersa en una profundidad en que queda completamente sumergida y, entonces el recipiente se baja gradualmente para que la placa regresara a la posición de profundidad cero. La balanza del tensiómetro fue calibrada internamente por el programa SCAT. Lavando la placa con agua destilada y flameada después de cada medida.

3.4. Análisis estadístico

Para evaluar la influencia de la concentración de sólidos en la tensión superficial de leche y lactosuero se utilizó un diseño unifactorial de efectos fijos, concentrando a 9 niveles de concentración. Los datos fueron tabulados, reportando su promedio y desviación estándar, y se aplicó un análisis de varianza y un test de comparación de medias. También se realizó análisis de regresión lineal simple y múltiple para correlacionar sólidos totales y componentes de superficie activa con la tensión superficial en lactosuero, utilizando el programa SAS 9.1.3.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización físico-química del lactosuero

En la tabla 4 se presenta la composición centesimal de las muestras de lactosuero de leche integral y sus respectivos concentrados. Como era de esperarse, todos los componentes (proteína, lactosa, lípidos, cenizas, ácido láctico) presentaron una relación directamente proporcional al aumento de sólidos totales y solubles (°Brix), característico de la concentración por evaporación. Para cada componente, las muestras concentradas presentaron diferencias estadísticamente significativas con la muestra de lactosuero, e incluso entre ellas mismas, a un nivel de confianza de 95%, lo que indica que la concentración por evaporación tiene una influencia significativa sobre el contenido de componentes orgánicos del lactosuero (anexos 1-14). El pH presentó un comportamiento inversamente proporcional a la variación de sólidos, lo que se puede atribuir a la liberación de protones de fosfatos primario y secundario durante la concentración, cuando el fosfato de calcio queda sobresaturado. A medida que el contenido de agua disminuye, se da la asociación de especies iónicas, y la neutralización de los grupos iónicos de las proteínas, permitiendo el descenso del pH. Un cambio en la concentración

Q (factor de concentración), ocasiona una disminución en el pH, de tal manera que disminuye 0,5 unidades para un Q de 3 (Walstra et al. 2006; Brodkorb 2008), lo que es comparable con el comportamiento de la muestra S1, con un descenso de 0,96 unidades en pH para un Q de 4. La disminución del pH se confirma con un aumento en la acidez titulable.

Tabla 4. Composición centesimal del lactosuero y lactosuero concentrado

Muestra	pH*	°Brix *	Acidez (% m/m)	ST (% m/m)	Lípidos (% m/m)	Cenizas (% m/m)	Proteínas (%) m/m)	Lactosa (% m/m)
S	6,15± 0,04 ^a	6,23± 0,02 ^a	0,15 ± 0,00 ^a	6,45 ± 0,11 ^a	0,22 ± 0,07 ^a	0,59 ± 0,06 ^a	1,25 ± 0,02 ^a	4,95 ± 1,43 ^a
S1	5,19± 0,05 ^b	27,20± 0,12 ^b	0,90 ± 0,03 ^b	28,53 ± 0,38 ^b	1,63 ± 0,10 ^b	1,93 ± 0,06 ^b	3,99 ± 0,09 ^b	15,68 ± 0,93 ^b
S2	5,15± 0,03 ^b	32,50± 0,34 ^c	1,07 ± 0,01 ^c	31,90 ± 1,58 ^c	2,07 ± 0,40 ^c	2,07 ± 0,08 ^c	4,32 ± 0,04 ^b	18,81 ± 1,35 ^c
S3	5,13± 0,04 ^b	37,00± 0,07 ^d	1,21 ± 0,00 ^d	37,43 ± 0,61 ^d	2,53 ± 0,03 ^d	2,19 ± 0,17 ^d	5,10 ± 0,11 ^c	22,84 ± 2,71 ^d
S4	5,10± 0,09 ^b	41,60± 0,17 ^e	1,38 ± 0,03 ^e	41,03 ± 0,12 ^e	2,92 ± 0,34 ^e	2,36 ± 0,04 ^e	5,76 ± 0,05 ^d	25,76 ± 6,36 ^e
S5	5,09± 0,06 ^b	45,80± 0,22 ^f	1,47 ± 0,02 ^f	45,93 ± 0,38 ^f	3,03 ± 0,02 ^e	2,85 ± 0,79 ^f	6,42 ± 0,03 ^e	28,56 ± 7,06 ^f
S6	5,07± 0,06 ^b	49,50± 0,15 ^g	1,64 ± 0,02 ^g	47,07 ± 0,25 ^g	3,53 ± 0,03 ^f	3,65 ± 0,26 ^g	6,72 ± 0,06 ^f	31,53 ± 6,42 ^g
S7	5,06± 0,04 ^b	55,50± 0,08 ^h	2,00 ± 0,02 ^h	49,14 ± 0,22 ^g	4,37 ± 0,01 ^g	3,63 ± 0,17 ^g	6,44 ± 0,21 ^e	32,53 ± 1,53 ^h
S8	5,05± 0,05 ^b	59,50± 0,02 ⁱ	1,98 ± 0,03 ^h	57,73 ± 1,73 ^h	4,97 ± 0,03 ^h	4,13 ± 0,32 ^h	7,88 ± 0,10 ^g	36,85 ± 0,04 ⁱ

Muestras con igual letra dentro de la misma Columna no presentan diferencias significativas.

4.2. Tensión Superficial de leche

En la Tabla 5 se muestra la tensión superficial para la leche y leche concentrada. Se observa que hay diferencias estadísticamente significativas entre las mismas ($p < 0,05$, anexo 13). La tensión superficial media para la leche fue de $40,62 \pm 0,38$ mN/m, mientras que para la leche concentrada estuvo entre 36,48 y 42,66 mN/m. Estos valores están de acuerdo a los reportados en la literatura por Kreidl et al. (1959), quienes reportaron un valor medio de 36,2 mN/m, y Vargas (2004) quienes reportaron valores entre 34,7-43,7 mN/m. Sin embargo, son inferiores a los citados por otros autores, como por ejemplo: 40 a 60 $\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$, con un valor promedio de 52 $\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$ a 20 °C (Fox y McSweeney 1998), 47-53 mN/m (Alais 1985); 55,3 mN/m (Atherton 1977), y 50 mN/m (Jenness et al. 1974). Las diferencias entre los valores reportados en la literatura y los de este estudio, pueden tener origen en los cambios de temperatura y la manipulación de las muestras, lo que pudo haber causado liberación de ácidos grasos libres por lipólisis, pues el aumento de ácidos grasos libres o la rancidez disminuyen la tensión superficial de la leche (Dunkley 1951 y Jenness et al. 1974). Otro factor que pudo haber influido es el periodo de lactación de los animales cuando la leche fue obtenida, pues varios autores han demostrado que de acuerdo a la época del año, varía la concentración de ácidos grasos libres en la leche y que esta variación tiene un efecto inversamente proporcional a la variación de la tensión superficial (Chazal y Chilliards 1985; Renner y Shahin 1978).

Tabla 5. Tensión superficial de las muestras de leche y leche concentrada

Muestra	ST (% m/m)	σ (mN/m)
L	10,72 \pm 0,01 ^a	40,62 \pm 0,01 ^c
L1	11,07 \pm 0,00 ^b	38,67 \pm 0,87 ^b
L2	11,41 \pm 0,18 ^c	41,12 \pm 0,03 ^c
L3	15,77 \pm 0,02 ^d	42,35 \pm 0,42 ^d
L4	20,70 \pm 0,02 ^e	36,87 \pm 0,22 ^a
L5	25,43 \pm 0,02 ^f	36,48 \pm 0,24 ^a
L6	28,43 \pm 0,01 ^g	42,66 \pm 0,30 ^d
L7	35,33 \pm 0,01 ^h	40,41 \pm 0,27 ^c
L8	39,41 \pm 0,02 ⁱ	39,21 \pm 0,25 ^b

Muestras con igual letra dentro de la misma Columna no presentan diferencias significativas.

En la figura 2 se muestra el efecto de la concentración de leche en la tensión superficial. La variación de la tensión superficial presenta varias zonas importantes, que se caracterizan por aumento y disminución considerable de la tensión superficial, aun así se puede observar que el efecto global es una pequeña disminución de la tensión superficial, pasando de 40,62 mN/m en la muestra inicial, a 39,21 mN/m en la muestra más concentrada. Tomczyńska et. al (2014) encontraron un comportamiento similar, al estudiar soluciones de proteínas aisladas con concentraciones entre 6-11% reportando que no hay cambios globales importantes, sin embargo al estudiar un rango inferior (0-10 mg/L) encontraron que la tensión superficial disminuía en forma exponencial pasando de 67 a 50 mN/m. Roehl y Jelen (1988) compararon muestras de diferentes tipos de lactosuero (entero, de queso cottage) con diferentes contenidos de proteína (0,6 - 1,7%), y muestras de leche descremada, reportando que la concentración de proteína y

grasa no tiene influencia significativa en la tensión superficial. Un fenómeno similar ha sido descrito por varios autores (González-Tello et al. 2009; López et al. 2010; Fernández et al. 2012). Esto indica que la leche tiene un contenido de surfactantes por encima de la necesaria para saturar la superficie y conseguir la máxima tensión superficial. Por ello se considera que la proteína y grasa de la leche por encima de sus valores normales no produce un efecto significativo sobre la tensión superficial (Alais 1985)

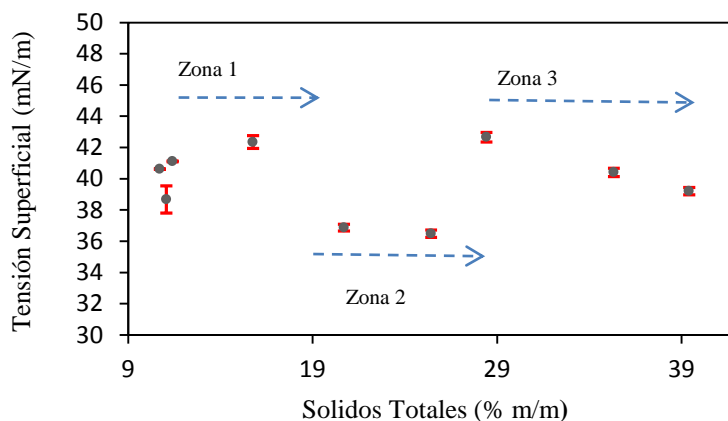


Figura 2. Tensión superficial de las muestras de leche concentrada en función del contenido de sólidos totales.

La leche es un líquido muy complejo, y por tanto pueden existir diversas dinámicas en los componentes de superficie activa, cuando esta es concentrada. En la primera zona de la Figura 2, se presenta una disminución de la tensión superficial hasta 11,07% de sólidos totales, y luego un aumento hasta 15,77 % de solidos totales. Este comportamiento se puede explicar por la liberación de fosfato primario y secundario a partir del fosfato cálcico en la concentración de la leche, que naturalmente se encuentra

próximo a su punto de saturación. Cualquier cambio de concentración y de temperatura conlleva a su insolubilización progresiva en forma de sal coloidal, lo que produce una disminución en las interacciones intermoleculares y a su vez una disminución en la tensión superficial. Este efecto ocurre hasta que el fosfato libre se asocia completamente a las submicelas de fosfocaseinato, presentándose un nuevo equilibrio de interacciones moleculares, aumentando la tensión superficial. Es posible que se presente una posterior disminución de la tensión superficial correspondiente a la segunda zona en la Figura 2 (16-26 % ST), debido a que las submicelas de caseína comienzan a aglomerarse una vez están mineralizadas en presencia de calcio iónico y fosfato, formando micelas de caseína por reducción de su carga eléctrica. Estas micelas son de un tamaño considerablemente mayor y tienen menor grado de hidratación, lo que disminuye las interacciones moleculares (Sarriá 2003; Romero 2004; Walstra et al. 2006). El aumento de la tensión superficial que ocurre

La tercera zona en la Figura 2, se caracteriza por una disminución en la tensión superficial a partir de 30% de sólidos. Este comportamiento se puede explicar por la sobresaturación de alfa-lactosa como cristales insolubles, que son imperceptibles a bajas concentraciones, donde comienza la nucleación. Alrededor de 70% de sólidos totales en leche se han desarrollado completamente como cristales amorfos de alfa y beta lactosa que producen una textura arenosa. Específicamente la formación del isómero alfa de este azúcar se favorecen con las condiciones experimentales de este estudio (vacío, temperaturas menores de 98°), y con el aumento de componentes como sales y ácidos orgánicos, disminuyendo las interacciones moleculares (Alais 1985; Rosas 1998; Gerigon et al. 2013).

A pesar de que algunos autores han reportado que la lactosa no es un componente de superficie activa importante en leche, puede influir de forma considerable una vez se encuentra en estado de sobresaturación (Alais 1985; Fox 1998; Schuck 2011).

4.3. Tensión superficial del lactosuero

El valor medio de la tensión superficial de lactosuero fue de $35,82 \pm 1,267$ mN/m y para el lactosuero concentrado estuvo entre 36,8-44,3 mN/m. Estos valores son inferiores a los reportados en la literatura para lactosuero sin concentrar: $41,7 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ (Roehl y Jelen 1988), $48 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ (Fox y McSweeney 1998) y $56,6 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ (Kessler 2002). La diferencia entre los valores encontrados y los reportados en la literatura, se puede deber al periodo de lactación de los animales, cuando las muestras de leche fueron obtenidas, debido a que la concentración de ácidos grasos en leche varía de acuerdo a la época del año, afectando directamente la concentración en el lactosuero. Los ácidos orgánicos son un componente de superficie activa importante, que disminuye la tensión superficial cuando aumenta su concentración. Esta diferencia concuerda con la encontrada para la leche, cuyos valores también son menores a los reportados en la literatura (Chazal y Chilliards 1985; Renner y Shahin 1978).

Algunos autores han estudiado la variabilidad de la tensión superficial, reportando que se puede deber a factores como; las técnicas de determinación utilizadas, a la composición, al histórico de temperatura, tiempo de almacenamiento y manipulación de la muestra (ej. agitación) (Roehl et al. 1988; Fox y McSweeney 1998; Williams et al. 2005). Mukherjei et al. (2005), reportaron que la tensión superficial de diferentes tipos

de leche fue menor utilizando el método de la placa de Wilhelmy en comparación con el método de ascensión capilar. Mientras que Kristensen et al. (1997) reportaron que el método dinámico del número de la gota da mayores valores que el método estático del anillo Du Nouy debido al tiempo de difusión de los surfactantes en la interfaz.

Tabla 6. Tensión superficial de las muestras de lactosuero y lactosuero concentrado

Muestra	ST (% m/m)	σ (mN/m)
S	6,45 \pm 0,11 ^a	35,82 \pm 0,19 ^a
S1	28,53 \pm 0,38 ^b	36,80 \pm 0,25 ^b
S2	31,90 \pm 1,59 ^c	38,50 \pm 0,33 ^c
S3	37,43 \pm 0,60 ^d	39,85 \pm 0,15 ^e
S4	41,03 \pm 0,12 ^e	41,45 \pm 0,24 ^f
S5	45,93 \pm 0,38 ^f	39,13 \pm 0,13 ^d
S6	47,07 \pm 0,25 ^g	39,13 \pm 0,12 ^d
S7	49,14 \pm 0,22 ^g	44,30 \pm 0,28 ^g
S8	57,73 \pm 1,47 ^h	43,78 \pm 0,13 ^g

Muestras con igual letra dentro de la misma columna no presentan diferencias significativas.

En la figura 3 se muestra la variación de la tensión superficial de las muestras de lactosuero concentrado en función del contenido de sólidos totales (ST). Se observa que se produce un aumento lineal de la tensión superficial con el aumento de los ST; y puede ser representado por la ecuación 5. El modelo lineal presenta un R^2 igual a 0,67, lo que significa que el modelo explica 67 % de la variación de la tensión superficial en función de ST (ver anexo18).

$$\sigma = 33,795 + 0,1579 * TST \quad (5)$$

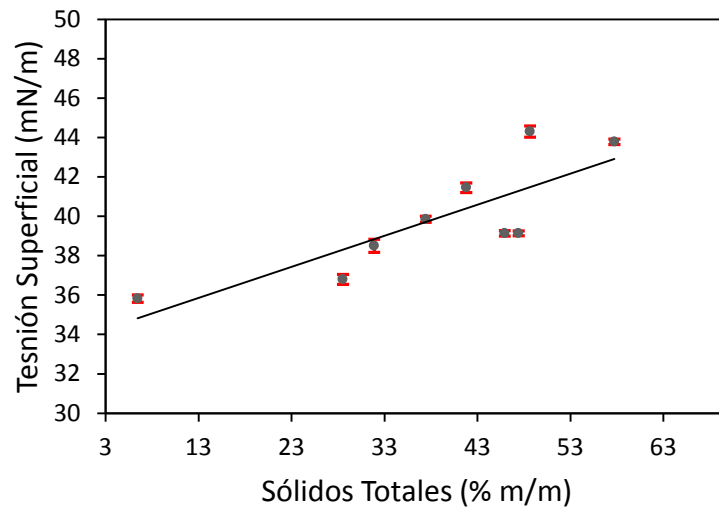


Figura 3. Tensión superficial de lactosuero concentrado en función del contenido de sólidos totales.

Como los sólidos totales no explicaron adecuadamente la variación de la tensión superficial en lactosuero concentrado por evaporación, esta fue analizada en función de sus componentes mayoritarios (proteína, lípidos, lactosa y cenizas). Se observa que el contenido de lípidos ($p=0,00062$), proteína ($p=0,031$) y cenizas ($p= 0,006$) tuvieron un efecto significativo sobre la tensión superficial (ver anexo 19). La materia proteica y las cenizas influenciaron inversamente, es decir que la tensión superficial disminuyó con el aumento del contenido de estos compuestos. Esto se debe a que estos componentes, son agentes de superficie activa importantes en los productos lácteos, que se absorben en la

interfaz aire/agua, formando una capa mono molecular en la superficie Comúnmente, el aumento de esos componentes disminuye la tensión superficial (Fox y McSweeney 1998). En el caso del lactosuero las cenizas presentan gran influencia, ya que este es fuente importante de sales minerales, destacándose el potasio, calcio, fosforo, sodio y magnesio (Parra 2009, Ramesh 2013).

Por otro lado, la tensión superficial se vio afectada positivamente por la concentración de lípidos, es decir, que el aumento del contenido de lípidos aumentó el valor de la tensión superficial. Ese comportamiento se puede explicar por una alteración de los glóbulos de grasa en las muestras de lactosuero, que pudo haber ocurrido a causa de la manipulación y del histórico de temperatura al que fueron sometidas dichas muestras: enfriamiento ($\sim 12^{\circ}\text{C}$), pre calentamiento ($\sim 35^{\circ}\text{C}$), concentración ($\sim 45^{\circ}\text{C}$), enfriamiento ($\sim 5^{\circ}\text{C}$), y al final, calentamiento para las medidas de tensión superficial ($\sim 30^{\circ}\text{C}$). Según Williams et al. (2005), se puede presentar la desnaturalización de las proteínas en la superficie de los glóbulos de grasa, aumentando la tensión superficial, pues ellas pierden la capacidad de adsorción a la superficie. En la desnaturalización térmica, las proteínas se agregan en la superficie de los glóbulos de grasa debido a los puentes disulfidicos entre ellas. Aunque la desnaturalización sea retardada en altas concentraciones de lactosa, todavía puede ocurrir permitiendo la agregación y aumentando la tensión superficial. Este mecanismo predominó en la concentración de las muestras de lactosuero, y por ello la tensión superficial aumenta linealmente con el aumento de solidos totales, como se puede observar en la Figura 3 (Anema 2000; Williams et al. 2005).

A partir del 50 % de sólidos totales la tensión superficial presenta una disminución, esto se puede explicar por la sobresaturación de cristales de alfa y beta lactosa, que comienzan a aparecer rápidamente por encima de 45-55 % de sólidos totales en la concentración de lactosuero (García 1993 y Jelen 2005), disminuyendo las interacciones moleculares. Adicionalmente, la concentración de componentes como sales y ácidos orgánicos, favorece la nucleación de cristales de alfa lactosa. Esta dinámica, contrarresta el efecto de aumento de la tensión superficial por la desnaturalización proteica en los glóbulos de grasa (Gerigon et al. 2013; Herrington 1934; Smart y Smith 1991).

Un modelo lineal se utilizó para representar los datos de tensión superficial, teniendo en cuenta el contenido de Lípidos, Proteína y Cenizas, es decir, los componentes que tuvieron un efecto significativo ($p < 0,05$). Cabe destacar, que el coeficiente para la variable contenido de Lactosa no fue significativo ($p=0,159$), indicando que un cambio en esta variable, no afecta significativamente la tensión superficial del lactosuero concentrado. El modelo lineal con los contenidos de Lípidos (Lip), Proteína (Pta) y Cenizas (Cenz), presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0,98, y un error medio de 0,306, y se presenta en la ecuación 6.

$$\sigma = 38,262 - 1,517 * Pta + 5,725 * Lip - 3,439Cenz \quad (6)$$

Con esta ecuación es posible predecir en el procesamiento del lactosuero, el cambio en la tensión superficial cuando se aumenta o disminuye la concentración de proteína, permaneciendo constante el contenido de lípidos y cenizas. De la misma manera se

puede predecir un cambio en la tensión superficial cuando se modifica la concentración de lípidos o cenizas, permaneciendo los otros dos componentes constantes.

5. CONCLUSIONES

- La tensión superficial en leche se ve afectada durante la evaporación, de acuerdo a la concentración de proteína, cenizas, lactosa y lípidos, que actúan como componentes de superficie activa. El efecto global es una pequeña disminución de la tensión superficial de 40,62 a 39,21 mN/m cuando los sólidos totales pasan de 10,72 a 40,62 % ST.

La leche es un alimento complejo, por lo que se pueden presentar diversas dinámicas que producen la variación de la tensión superficial, cuando se altera la concentración de la leche de 10,72 a 40,6 % de ST, presentándose un aumento de tensión superficial por liberación de fosfatos, posterior disminución de tensión superficial por mineralización de caseínas y disminución de tensión superficial por cristalización de lactosa.

- La concentración de lactosuero por evaporación, produce un aumento en el contenido de lípidos, proteínas, cenizas y ácido láctico. La tensión superficial en lactosuero se ve afectada durante la evaporación, de acuerdo a la concentración de proteína, cenizas y lípidos, que actúan como componentes de superficie activa. El efecto es un aumento lineal de la tensión superficial, pasando de 35,82

a 43,78 mN/m, cuando los sólidos totales pasan de 6,5 a 58%. Otros componentes como la lactosa no presenta influencia significativa sobre esta propiedad.

- La variación de la tensión superficial en lactosuero de acuerdo al contenido de proteína, lípidos y ceniza, se representa por un modelo lineal.

El componente que más influye sobre la tensión superficial son los lípidos, esto se debe a la desnaturalización de glóbulos de grasa, disminuyendo la capacidad de adsorción en la superficie. Esta desnaturalización es proporcional a su concentración y es causada por la manipulación y tratamiento térmico.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios en condiciones controladas de temperatura y tiempo, tanto en la obtención de las muestras, como en el almacenamiento, de tal manera que se controlen las reacciones de lipólisis, y desnaturalización de las proteínas en los glóbulos de grasa.
- Estudiar la variación de la tensión superficial y de los componentes de superficie activa, teniendo en cuenta la variación de temperatura durante la concentración, ya que la variación de la tensión superficial es un fenómeno complejo que podría explicarse mejor al estudiar otros factores involucrados en la actividad superficial.
- Estudiar la influencia de los componentes de superficie activa en la tensión superficial usando los métodos de placa de Wilhelmy y el método estático del anillo Du Nouy, que parecen tener mayor tiempo de difusión de surfactantes en la interfaz aire-agua, respecto a los otros métodos, y por tanto mayor fiabilidad.

7. BIBLIOGRAFIA

Alais C & Godina, 1985. Ciencia de la leche: principios de técnica lechera. Barcelona, España; Reverté: 873 p.

Anema, S. G. (2000). Effect of milk concentration on the irreversible thermal denaturation and disulfide aggregation of β -lactoglobulin. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(9), 4168-4175.

Ángela, M., María, P. (1995). Aprovechamiento de lactosueros por fermentación, producción de ácido L-láctico [Microforma]. Colección tesis doctorales Universidad de Castilla La Mancha 14(1), 374.

Aranceta, J, serra, LI. (2005). Leche, lácteos y salud. Madrid.

Atherton H, 1977. Chemistry and testing of dairy products. Westport, Conneticut: The Avi Publishing Company Inc; 396p

Correa A, 2010. Gelificación fría de las proteínas del lactosuero. Cali-Colombia: Revista ReCiTeIA,19p.

Cuartas, B., Alcaina, M., Soriano, E., Mendoza, J., Iborra, M., Lora, J. (2009). A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration. *Desalination*, 241(1–3), 244-255.

Charles, A. (1985). *Ciencia de la leche: principios de técnica lechera*.

Dunkley, W. L. (1951). Hydrolytic rancidity in milk. I. Surface tension and fat acidity as measures of rancidity. *Journal of Dairy Science*, 34(6), 515-520.

Drusch, S., Hamann, S., Berger, A., Serfert, Y., Schwarz, K. (2012.) Surface accumulation of milk proteins and milk protein hydrolysates at the air–water interface on a time-scale relevant for spray-drying, *Food Research International*. 47(2), 140-145.

Norma general del codex para el uso de términos lecheros (CODEX STAN 206) (1999).

Fox F, Paul L. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. NY-EEU: Springer Science & Business Media; 1998. 478 p

Fox P, 1997. *Advanced Dairy Chemistry: Lactose, water, salts and vitamins (Vol.3)*. Madras-India: Chapman and Hall; 539 p.

Fox P, McSweeney P. *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Londres, Inglaterra; chapman and hall: 1998. 580 p.

Fox, P. F., & Brodkorb, A. (2008). The casein micelle: historical aspects, current concepts and significance. *International Dairy Journal*, 18(7), 677-684.

Galieta, Giovanni, Harte, Federico, Molinari, Daniel, Capdevielle, Rossana, & Diano, Washington. (2005). Aumento de la vida útil postcosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 6(2), 117-123.

García, M., Quintero, R., López, A. (1993). *Biotecnología alimentaria*. Editorial limusa.

Gerigon, G., Baillon, F., Espitalier, F., LeFloch-Fouéré, C., Schuck, P., Jeantet, R (2013). Effects of the addition of various minerals, proteins and salts of organic acids on the principal steps of α -lactose monohydrate crystallisation *International Dairy Journal*, pp. 88–95

Gourdon, M., Innings, F., Jongsma, A., & Vamling, L. (2015). Qualitative investigation of the flow behaviour during falling film evaporation of a dairy product. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 60, 9-19.

Hernandez, Angel Gil (DRT). (2010). *Tratado de nutricion: Composicion Y Calidad Nutritiva De Los Alimentos* Ed. Médica Panamericana.

Jelen, P (2005). *Properties of lactose as determinants of crystallization behaviour and of industrial applications*, University of Alberta.

Jenness R, Shipe W. F, & Sherbon J. W, 1974. Physical properties of milk. *Fundamentals of dairy chemistry*. Wesport, CT: in B.H. Webb, A.H. Johnson y J.A. Alford (eds);. 402-441p.

Kalliadasis, S., Ruyer, Q., Scheid, B., García, M (2011). *Falling Liquid Films (Volume 176 of Applied Mathematical Sciences)*. Springer. ISBN 978-1-84882-367-9.

Kamath, Sapna, Wulandewi, Agnes, & Deeth, Hilton. (2008). Relationship between surface tension, free fatty acid concentration and foaming properties of milk. *Food research international*, 41(6), 623-629.

Kessler H, 2002. Food and bio process engineering. Dairy Technology. Weihenstephan-Germany: House A. Kessler; 694p.

Kristensen, D., Jensen, P. Y., Madsen, F., & Birdi, K. S. (1997). Rheology and surface tension of selected processed dairy fluids: influence of temperature. *Journal of dairy science*, 80(10), 2282-2290. p. 2282–2290.

Lewis, J., Torneros, J.Z., & Lera, J.P.B. (1993). Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado: Acribia.

López-Barajas, Magdalena, Viu-Marco, Araceli, López-Tamames, Elvira, Buxaderas, Susana, & de la Torre-Boronat, M Carmen. (1997). Foaming in grape juices of white varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(7), 2526-2529.

Mariano, G., Rodolfo, Q., & Agustín, L. (2004). *Biotecnología alimentaria* Limusa (Ed.) (pp. 197). Esto parece el nombre no el apellido de los autores, revisar

Masters K, 1976. *Spry drying handbook*. Wisconsin, USA: Longman Scientific & Technical; 725 p.

Morison, K. R., Worth, Q. A. G., & O’dea, N. P. (2006). Minimum wetting and distribution rates in falling film evaporators. *Food and bioproducts processing*, 84(4), 302-310.

- Mukherjee, N.; Bansal, B.; Chen, X. D. (2005). Measurement of Surface Tension of Homogenised Milks. *International Journal of Food Engineering*, v. 1, n. 2, 1556-3758.
- Perrone I (2010). Soro de leite: Concentração, Cristalização da Lactose e Secagem. [Tesis doctoral]. [viçosa-Brasil]: Universidad Federal de Viçosa. 86 p.
- Ralph, E. (1998). *Technology of Dairy Products*.
- Ramesh C, 2013, Chandan A. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Iowa-USA: John Wiley & Sons; 496p.
- Rodríguez, Y., SchÖBitz, R. (2009). Film antimicrobial based whey protein, lactic acid bacteria incorporated as controller listeria monocytogenes applied to smoked salmon. *Rev.Bio.Agro*, 7(2), 49-54.
- Roehl, D., & Jelen, P. (1988). Surface tension of whey and whey derivatives. *Journal of Dairy Science*, 71(12), 3167-3172.
- Romero S, Mestres J, 2004. *Productos lácteos*. Catalunya: tecnología U. P. d. (Ed.); 76p.
- Silveira, A. , De Carvalho, A., Perrone, Í., Fromont, L., Méjean, S., Tanguy, Schuck, P. (2013). Pilot-scale investigation of effectiveness of evaporation of skim milk compared to water. *Dairy Science & Technology*, 93(4-5), 537-549.
- Schuck P, 2011. Lactose and oligosaccharides; Lactose: Crystallization, In *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)*. San Diego, California: edited by John W. Fuquay, Academic Press;.182-195p.

Vargas I (2004). Determinación de la Variación de Algunas Propiedades Físicas en Leche Cruda de las Regiones Octava, Novena y Décima. [Tesis de grado] . [Valdivia-Chile]: Universidad Austral de Chile: 2004. 96 p.

Walstra P, 2013. Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes. NY, EEU: Boca raton, CRC Press; 752 p.

Walstra P, Wouters J, Geurts T, 2006. Dairy Science and Technology. NY, EEU: Second ed. Boca Raton: CRC Press; 808 p.

Watson, P. D. (1958). Effect of Variations in Fat and Temperature on the Surface Tension of Various Milks. Journal of Dairy Science, 41(12), 1693-1698.

Williams, A. M., Jones, J. R., Paterson, A. H. J., & Pearce, D. L. (2005). Milks and milk concentrates: surface tension measurement. International Journal of Food Engineering, 1(1).

Whitnah, C. H. (1959). The Surface Tension of Milk. A Review. Journal of Dairy Science, 42(9), 1437-1449.

Xu, Yun Yun, Howes, Tony, Adhikari, Benu, & Bhandari, Bhesh. (2012). Investigation of Relationship between Surface Tension of Feed Solution Containing Various Proteins and Surface Composition and Morphology of Powder Particles. Drying Technology, 30(14), 1548-1562.

Xu, Yun Yun, Howes, Tony, Adhikari, Benu, & Bhandari, Bhesh. (2013). Effects of Emulsification of Fat on the Surface Tension of Protein Solutions and Surface Properties of the Resultant Spray-Dried Particles. Drying Technology, 31(16), 1939-1950.

Zebin, Wang, & Ganesan, Narsimhan. (2010). Surface Tension Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, Second Edition (Vol. null, pp. 1632-1636): Taylor & Francis.

8. ANEXOS

Anexo 1. ANOVA para proteína en lactosuero

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: proteina

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	92.40909630	11.55113704	1177.80	<.0001
Error	18	0.17653333	0.00980741		
Corrected Total	26	92.58562963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	proteina Mean
0.998093	1.866318	0.099032	5.306296

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	92.40909630	11.55113704	1177.80	<.0001

Anexo 2. Comparación t-student para valores medios de proteína en lactosuero.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for proteina

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.009807
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.2833

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	7.88000	3	9
B	6.72333	3	7
C	6.43667	3	8
C	6.41667	3	6
D	5.76000	3	5
E	5.09000	3	4
F	4.21333	3	3
F	3.99000	3	2
G	1.24667	3	1

Anexo 3. ANOVA para lípidos en lactosuero

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: lipidos

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	49.16953333	6.14619167	965.93	<.0001
Error	18	0.11453333	0.00636296		
Corrected Total	26	49.28406667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	lipidos Mean
0.997676	2.840972	0.079768	2.807778

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	49.16953333	6.14619167	965.93	<.0001

Anexo 4. Prueba de Tukey para valores medios de lípidos en lactosuero.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for lipidos

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.006363
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.2282

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	4.96667	3	9
B	4.36667	3	8

C	3.53333	3	7
D	3.03333	3	6
D	2.91667	3	5
E	2.53000	3	4
F	2.07333	3	3
G	1.63333	3	2
H	0.21667	3	1

Anexo 5. ANOVA para lactosa en lactosuero

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: lactosa

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	2336.486785	292.060848	258546	<.0001
Error	18	0.020333	0.001130		
Corrected Total	26	2336.507119			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	lactosa Mean
0.999991	0.139071	0.033610	24.16741

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	2336.486785	292.060848	258546	<.0001

Anexo 6. Prueba de Tukey para valores medios de lactosa en lactosuero.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for lactosa

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.00113
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.0962

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	36.85000	3	9
B	32.53333	3	8
C	31.53000	3	7
D	28.56000	3	6
E	25.75667	3	5
F	22.84333	3	4
G	18.80667	3	3
H	15.68000	3	2
I	4.94667	3	1

Anexo 7. ANOVA para cenizas en lactosuero

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: cenizas

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	28.60706667	3.57588333	11493.9	<.0001

Error	18	0.00560000	0.00031111
-------	----	------------	------------

Corrected Total	26	28.61266667
-----------------	----	-------------

R-Square	Coeff Var	Root MSE	cenizas Mean
0.999804	0.678108	0.017638	2.601111

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	28.60706667	3.57588333	11493.9	<.0001

Anexo 8. Prueba de Tukey para valores medios de cenizas en lactosuero.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for cenizas

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.000311
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.0505

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	4.12667	3	9
B	3.65000	3	7
B			
B	3.63333	3	8
C	2.85000	3	6
D	2.35667	3	5
E	2.19333	3	4
F	2.07000	3	3
G	1.93667	3	2
H	0.59333	3	1

Anexo 9. ANOVA para ácido láctico en lactosuero

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: acidez

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	7.97646667	0.99705833	8157.75	<.0001
Error	18	0.00220000	0.00012222		
Corrected Total	26	7.97866667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	acidez Mean
0.999724	0.843210	0.011055	1.311111

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	7.97646667	0.99705833	8157.75	<.0001

Anexo 10. Prueba de Tukey para valores medios de ácido láctico en lactosuero.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for acidez

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.000122
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.0316

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	2.003333	3	8
A			
A	1.983333	3	9

B	1.643333	3	7
C	1.470000	3	6
D	1.376667	3	5
E	1.206667	3	4
F	1.066667	3	3
G	0.900000	3	2
H	0.150000	3	1

Anexo 11. ANOVA para °Brix en lactosuero.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Brix

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	6335.733847	791.966731	19558.1	<.0001
Error	18	0.728874	0.040493		
Corrected Total	26	6336.462721			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Brix Mean
0.999885	0.510214	0.201229	39.44004

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	6335.733847	791.966731	19558.1	<.0001

Anexo 12. Prueba de Tukey para valores medios de °Brix en lactosuero.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Brix

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.040493
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.5757

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	59.5067	3	9
B	55.5533	3	8
C	49.5000	3	7
D	45.7967	3	6
E	41.4600	3	5
F	36.9967	3	4
G	32.7200	3	3
H	27.1967	3	2
I	6.2303	3	1

Anexo 13. ANOVA para pH en lactosuero.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: pH

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	2.96700000	0.37087500	90.21	<.0001
Error	18	0.07400000	0.00411111		

Corrected Total	26	3.04100000
-----------------	----	------------

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pH Mean
0.975666	1.227529	0.064118	5.223333

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	2.96700000			
0.37087500	90.21	<.0001			

Anexo 14. Prueba de Tukey para valores medios de pH en lactosuero.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for pH

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.004111
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.1834

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	6.15333	3	1
B	5.19333	3	2
B	5.14667	3	3
B	5.13333	3	4
B	5.10000	3	5
B	5.09667	3	6
B	5.07000	3	9
B	5.06000	3	7
B	5.05667	3	8

Anexo 15. ANOVA para tensión superficial en leche.

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: tension

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	115.9467185	14.4933398	104.19	<.0001
Error	18	2.5038667	0.1391037		
Corrected Total	26	118.4505852			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	tension Mean
0.978862	0.936613	0.372966	39.82074

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	115.9467185	14.4933398	104.19	<.0001

Anexo 16. Prueba de Tukey para valores medios de tensión superficial en leche.

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for tension

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.139104
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	1.067

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	42.6600	3	7
A			
A	42.3467	3	4

B	41.1200	3	3
B			
B	40.6167	3	1
B			
B	40.4133	3	8
C	39.2067	3	9
C			
C	38.6667	3	2
D	36.8733	3	5
D			
D	36.4833	3	6

Anexo 17. ANOVA para solido totales en leche

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: stleche

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	2797.646723	349.705840	92201.3	<.0001
Error	18	0.068271	0.003793		
Corrected Total	26	2797.714995			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	stleche Mean
0.999976	0.279524	0.061586	23.03248

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	2797.646723	349.705840	92201.3	<.0001

Anexo 18.Prueba de Tukey para valores medios de sólidos totales en leche

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for stleche

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.003793
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.1762

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	39.41333	3	9
B	35.32667	3	8
C	28.42333	3	7
D	25.42667	3	6
E	20.70333	3	5
F	15.77000	3	4
G	11.43667	3	3
H	11.07567	3	2
I	10.71667	3	1

Anexo 19. Regresión lineal múltiple para componentes de superficie activa y tensión superficial en lactosuero.

<i>Regression</i>	
Multiple Correlation Coefficient	0.99704792
Determination Coefficient R ²	0.99410455
Adjusted R ²	0.98624395
Standard Error	0.30661227
Observaciones	8

Anexo 20. ANOVA para regresión de componentes de superficie activa y tensión superficial.

	FD	Sum of Squares	Mean Square	F	F Critical Value
Regression	4	47.557	11.889	126.466	0.001
Residue	3	0.2820	0.0940		
Total	7	47.839			

Anexo 21. Contrastes de regresión de componentes de superficie activa y tensión superficial.

	Coeff	Standard Error	T Value	Pr	Below 95%	Above to 95%
Interception	38.2622391	0.72695826	52.6333372	1.5105E-05	35.94873349	40.5757447
-	-	-	-	-	-	-
X 1	1.51746723	0.3949776	-3.8419071	0.03110943	-2.774462219	0.26047224
X 2	5.72578727	0.37694706	15.1898977	0.00061954	4.526173494	6.92540105
X 3	0.11467345	0.06162204	1.86091606	0.15968478	-0.081435393	0.31078229
-	-	-	-	-	-	-
X 4	3.43984651	0.49111149	7.00420691	0.00597597	-5.002782466	1.87691056

Anexo 22. ANOVA para valores medios de tensión superficial en lactosuero

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: tensionlacto

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	198.4573630	24.8071704	529.44	<.0001
Error	18	0.8434000	0.0468556		
Corrected Total	26	199.3007630			

R-Square Coeff Var Root MSE tensionlacto Mean

	0.995768	0.543014	0.216461	39.86296	
Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	198.4573630	24.8071704	529.44	<.0001

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for tensionlacto

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.046856
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	0.6193

Anexo 23. Prueba de Tukey para valores medios de tensión superficial en lactosuero

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	44.3000	3	8
A			
A	43.7767	3	9
B	41.4533	3	5
C	39.8467	3	4
D	39.1333	3	6
D			
D	39.1300	3	7
E	38.5033	3	3
F	36.8000	3	2
G	35.8233	3	1

Anexo 24. ANOVA para valores medios de Solidos Totales en lactosuero

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: st

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	5366.879274	670.859909	1108.17	<.0001
Error	18	10.896733	0.605374		
Corrected Total	26	5377.776007			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	st Mean
0.997974	2.028403	0.778058	38.35815

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
grupo	8	5366.879274	670.859909	1108.17	<.0001

Anexo 25. Prueba de Tukey para valores medios de Solidos Totales en lactosuero

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for st

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	18
Error Mean Square	0.605374
Critical Value of Studentized Range	4.95521
Minimum Significant Difference	2.2259

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	grupo
A	57.7333	3	9
B	49.1367	3	8
B			
B	47.0667	3	7
C	45.9333	3	6
D	41.0333	3	5
E	37.4333	3	4
F	31.9000	3	3
G	28.5333	3	2
H	6.4533	3	1